

Harvning med vridbara tallrikar i sidolutande terräng

Disc trenching with rotatable discs on side slopes

Gunnar Boglind



Examensarbete • 30 hp

Jägmästarprogrammet

Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, 2020:6

Umeå 2020

Harvning med vridbara tallrikar i sidolutande terräng

Disc trenching with rotatable discs in hillside terrain

Gunnar Boglind

Handledare: Back Tomas Ersson, bitr. universitetslektor SLU, Skogsmästarskolan
Examinator: Tomas Nordfjell, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet

Omfattning: 30 hp
Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, A2E
Kurstitel: Masterarbete i skogsvetenskap
Kursansvarig inst.: Institutionen för skogens biomaterial och teknologi
Kurskod: EX0956
Program/utbildning: Jägmästarprogrammet

Utgivningsort: Umeå
Utgivningsår: 2020
Serietitel: Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi
Delnummer i serie: 2020:6
Omslagsbild: Bracke Forest AB
Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Markberedning, planteringspunkter, lutning, beståndsanläggning

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Sammanfattning

Markberedning är idag en vanlig åtgärd inom det svenska skogsbruket. I Sverige utförs nästan all markberedning maskinellt och den dominerande metoden är harvning vilket utförs på mer än hälften av den markberedda arealen. Aggregat som är väl anpassade till utmanande terrängförutsättningar uppnår ofta ett gott resultat vid markberedning. Bracke Forest har nyligen utvecklat en mångsidig harv med vridbara tallrikar (Bracke T28.a). Syftet med denna studie var att utvärdera kvaliteten på markberedningen i sidolut hos harven Bracke T28.a med tallrikarna vridna åt samma håll jämfört med tallrikarna vridna åt olika håll (s.k. standardharv). Anledningen till att främst sidolut studerades var för att fördelen av vridbara tallrikarna ansågs som störst i sidolut.

Under hösten 2019 genomfördes ett fältförsök i Västerbotten där kvaliteten av markberedningsresultatet med T28.a aggregatet i sidolutande terräng studerades. Terrängfaktorer som lutning, humustjocklek och blockkvot samt markberedningsresultatet registrerades och analyserades.

Harven med de vridbara tallrikarna vinklade åt samma håll nerför lutningen (T28.a) gav 5 % fler godkända planteringspunkter än tallrikar vinklade åt olika håll (standardharven), och andelen planteringspunkter med mineraljord på omvänd torva ökade med 12 %. Skillnaderna mellan behandlingarna blev större med ökad blockkvot och humustjocklek samt ökad lutning. Även vid de lägsta registrerade klasserna för blockkvot och humustjocklek var fördelen med tallrikar vinklade åt samma håll signifikant.

Studiens slutsatser är att vid markberedning i sidolut blir markberedningsresultatet bättre med vridbara tallrikar än med en standardharv. Resultatet öppnar för en ökad andel skråkörning vid markberedning vilket kan leda till såväl ekonomiska samt miljömässiga vinster då både bränsleförbrukning och risken för sedimenttransport minskar.

Nyckelord: Markberedning, planteringspunkt, lutning, föryngring

Abstract

Soil preparation is a frequent operation in Swedish forestry. In Sweden, almost all soil preparation is performed mechanically. The most common method is disc trenching which is performed on more than half of the yearly soil prepared area. Soil preparation units that can adapt to challenging terrain often achieve good soil preparation results. Bracke Forest has recently developed an adaptable disc trencher which has rotatable discs (Bracke T28.a). The objective of this study was to investigate the quality of soil preparation on side-sloping terrain using a Bracke T28.a with the discs rotated in the same direction compared to the discs rotated in separate directions (the latter set up imitates normal disc trenchers). The reason for studying the T28.a on side slopes was that the effect of the rotatable discs was considered to be more pronounced when the machine was working along the contours.

During the fall of 2019, a field study was carried out in the region of Västerbotten, Sweden. The soil preparation quality of the T28.a disc trencher on side-sloping terrain was observed. The produced microsites and terrain characteristics were registered and analyzed.

The T28.a disc trencher with both discs rotated in the same direction (downhill) produced 5 % more acceptable planting spots than when the discs were rotated in different directions, and produced 12 % more planting spots that contained inverted humus with mineral soil coverage. The difference between the two disc trencher versions increased with more challenging terrain characteristics, although differences were also statistically significant at lower boulder quotas and humus layer thicknesses. The conclusions of this study are that soil preparation on side-slopes is aided by disc trenchers with rotatable discs compared to normal disc trenchers.

The results of this study opens up for an increased proportion of disc trenching on side sloping terrain, which can lead to economic and environmental benefits because both fuel consumption and risk of erosion decrease when trenching is performed along the contours.

Keywords: Soil preparation, site preparation, slopes, forest regeneration

Förord

Först och främst vill jag tacka min handledare Back Tomas Ersson vid skogsmästarskolan. Back Tomas har med stort engagemang och entusiasm stöttat mig i mitt arbete och kommit med värdefull feedback och förbättringsförslag.

Ett stort tack skall även riktas till alla inblandade på Kvalitetsskog AB, som ställde upp med maskiner och en otroligt engagerad personal under fältstudiens genomförande. Utan ert deltagande hade denna studie inte varit möjlig att genomföra.

Tack till SCA Skog Västerbottens förvaltning och framförallt Malin Sörhammar som engagerade sig och letade upp samt upplät mark för fältstudien.

Sist men inte minst vill jag tacka alla mina kurskamrater som stöttat och kommit med goda råd under arbetets gång.

Umeå, Mars 2020

Innehållsförteckning

1	Inledning	9
1.1	Bakgrund	9
1.1.1	Markberedningen i Sverige och dess positiva effekter	9
1.1.2	Markberedningens negativa effekter	10
1.1.3	Tekniker för maskinell markberedning	11
1.1.4	Svårigheter för maskinell markberedning	12
1.1.5	Tekniska förbättringar för harven	13
1.2	Vridbara tallrikar med Bracke T28.a	14
1.3	Tidigare studier	15
1.4	Syfte och mål	15
2	Material och metoder	16
2.1	Vetenskaplig metod	16
2.2	Försökslokaler	16
2.3	Utläggning av parceller	18
2.4	Försökets genomförande	20
2.5	Inventering av försöksytor och karaktärisering av planteringspunkter	22
2.6	Dataanalyser	23
3	Resultat	24
3.1	Humustjockleken	24
3.2	Markberedningsresultatet	26
4	Diskussion	31
4.1	Markberedningsresultatet	31
4.2	Tidigare resultat	32
4.3	Ekonomiska aspekter	33
4.4	Praktisk implementering	33
4.5	Studiens styrkor och svagheter	34
4.6	Fortsatt forskning	35
4.7	Slutsatser	36
	Referenslista	37
5	Bilagor	40
5.1	Bilaga 1. Tabell tillhörande figur 11 A	40
5.2	Bilaga 2. Tabell tillhörande figur 11 B	40
5.3	Bilaga 3. Kostnads kalkyl för de båda maskinsystemen	41

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Den idag dominerande föryngringsmetoden i Sverige är plantering vilket utfördes på 169 000 hektar säsongen 2017 (Skogsstyrelsen, 2019). Den näst vanligaste föryngringsmetoden är naturlig föryngring. Den tredje vanligaste föryngringsmetoden är sådd vilket utfördes på 5% av föryngringsarealen 2013 (Skogsstyrelsen, 2014). Under 2017 utfördes maskinell markberedning på 152 000 hektar (Skogsstyrelsen, 2019).

1.1.1 Markberedningens positiva effekter

Markberedningens syfte är att skapa gynnsamma förhållanden för plantan under dess tidiga år på hygget genom att åstadkomma godkända planteringspunkter. Inom maskinell markberedning innebär det i de flesta fall att föra bort humusskiktet eller bearbeta det för att skapa en god planteringspunkt (Löf *et al.*, 2012). Det eftersträvasvärda resultatet med markberedning är oftast en omvänd humustorva med mineraljordstäckning, den omvända torvan skapar ett flertal gynnsamma effekter för den nya generationen skog i sin tidigaste fas (Sutton, 1993). Mineraljordstäckningen i den markberedda ytan ger plantorna en skyddszon från konkurrerande växtlighet på hygget, något som kan vara ett stort problem i främst södra Sverige och på bördig mark (Hallsby, 2013).

Mineraljordstäckningen ger även ett effektivt skydd mot snytbaggeskador på skogsplantor, där den exponerade mineraljorden tycks göra snytbaggen ovillig att uppehålla sig vid plantan för att beta (Nordlander *et al.*, 2011). Försök har visat att markberedningen kan minska andelen snytbaggeangripna plantor från 80% till 35-

10% (Norlander *et al.*, 2006). Luften i plantans närmiljö blir varmare om plantan planterats på blottlagd mineraljord som en följd av att mineraljorden lagrar större energimängder under soliga dagar än mark som är täckt av markvegetation. Den lagrade värmen avges sedan till luften ovanför mineraljorden under natten, vilket kan ha avgörande effekter för plantöverlevnaden på frostlänta marker (Lundmark, 1988).

Energien som lagras under dagen i den blottlagda mineraljorden leder även till en höjd marktemperatur i plantans jordmiljö (Sutton, 1993). Värmen får till följd att vatten och näringsämnen i jorden blir mer lättflytande som ger en ökad rotttillväxt hos plantorna (Lundmark, 1988). Vid en markberedning där humuslagret avlägsnas och mineraljorden blottläggs visar studier av Söderström (1974) att det under torra perioder finns mer vatten några centimeter ner i marken än vad det finns under gräsbevuxen yta intill. Förhållandet visade sig vara det motsatta vid fuktigare perioder, då innehåller marken under mineraljordsfläcken en mindre andel vatten. Således ger markberedningen en jämnare vattentillgång vilket skyddar plantan från uttorkning samt minskar risken att den utsätts för mycket fukt (Lundmark, 1988).

De humusrester som bäddas in av mineraljorden vid en lyckad markberedning bildar den så kallade komposteffekten, den ger plantorna en ökad näringstillgång vilket stimulerar tillväxten (Hallsby, 2013). Själva planteringsarbetet underlättas eftersom plantören har en större mängd planteringspunkter att välja mellan jämfört med ett omärkat område (Hallsby, 2013; Löf, 2000).

Sammantaget kan sägas att dessa effekter tillsammans får till följd att plantor som etablerats på markberedda hyggen växer bättre och får en ökad överlevnad. Markberedningens effekter tycks även finnas kvar längre fram i omloppstiden (Hjelm *et al.*, 2019). Studier indikerar en större stamvolym och en högre höjdtillväxt för träd som planterats på markberedda hyggen vilket kan leda till kortare omloppstider (Hjelm *et al.*, 2019; Hansson *et al.*, 2014; Hjelm *et al.*, 2012; Mattsson & Bergsten, 2003).

1.1.2 Markberedningens negativa effekter

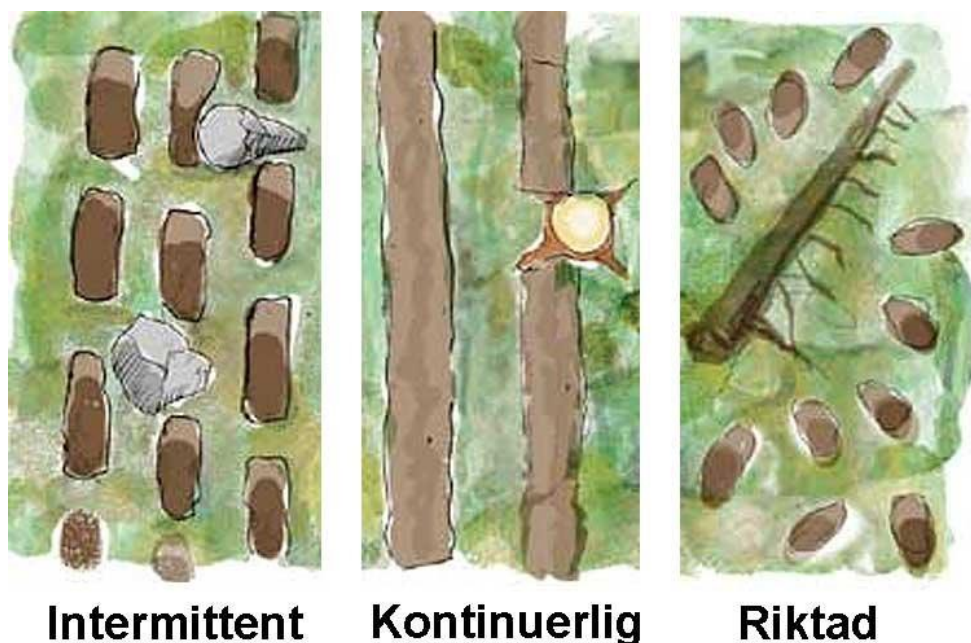
Markberedningen medför även effekter som inte enbart är positiva. Studier har påvisat att en stor del av den areal som skall föryngras utsätts för markpåverkan, i fallet harvning kan mer än 50% av markytan påverkas (Magnusson, 2015; Mattsson & Bergsten, 2003). En överdriven markpåverkan orsakar problem främst inom renbetesområden där lavdominerande hyggen markbereds eftersom laven är den dominerande födan under vintertid för renarna (Roturier, 2009). Studier har visat att lavbiomassan 15 år efter markberedning endast återväxt till 25% på harvade hyggen (Roturier, 2009). Markberedningen kan väcka negativa reaktioner hos allmänheten,

då resultatet kan upplevas förfulande och marken ser skadad ut efter ingreppet (Rydberg, 2004). Därför kan det vara lämpligt att använda mer skonsamma manuella markberedningsmetoder i marker med stort rekreativvärde (Rydberg, 2004).

Eftersom att markberedningen ofta kräver att tunga maskiner (Löf *et al.*, 2012) kör på trakten ökar även risken för skador på kultur- och fornminnen. Enligt Unander och Claesson (2016) är markberedning den skogliga åtgärd som i störst utsträckning påverkar kulturlämningar negativt. Markberedning orsakade 41 % av de rapporterade skadorna på kulturlämningar. Författarna anser att skadorna borde vara förhållandevis enkla att undvika genom förbättrade traktordirektiv samt ökad utbildning till maskinförarna.

1.1.3 Teknik för maskinell markberedning

De tekniker för maskinell markberedning som utförs i Sverige är främst harvning med buren harv samt högläggning med antingen ett buret högläggingsaggregat eller riktad högläggning med grävmaskin (Löf *et al.*, 2015). Harven jobbar kontinuerligt framryckande med både basmaskin samt aggregat medan högläggaren har en kontinuerligt framryckande basmaskin men intermitterant arbetande aggregat. Vanligtvis utgörs basmaskinen av en skotare eller i vissa fall en lunnare som är kontinuerligt framryckande. Vid högläggning med grävmaskin arbetar även basmaskinen intermitterant framryckande och skapar planteringspunkter inom det avstånd som kranlängden tillåter från maskinen, vilket kallas riktad markberedning (Figur 1) (Örlander & Gemmel, 1989). Den idag dominerande tekniken är harvning vilket under 2000-talets första decennium stod för 52% av den markberedda arealen (Hansson *et al.* 2014). Vilken markberedningsmetod som är lämpligast varierar med ståndortens egenskaper såsom markfuktighet och blockighet (Hallsby, 2013).



Figur 1. Principskiss för de vanligaste markberedningsprinciperna, Skiss från skogskunskap.se, illustratör Anna Marconi

Figure 1. Description of the most common principles of soil preparation (Intermittent, continuous and directed). Sketch from skogskunskap.se, illustrator Anna Marconi.

1.1.4 Svårigheter för maskinell markberedning

Traktens naturgivna förutsättningar har en direkt påverkan på markberedningsresultatet (Örlander & Gemmel, 1989). Blockförekomst och lutning påverkar hur väl maskinen kan ta sig fram i terrängen vilket kan leda till ett ökat avstånd mellan markberedningsraderna och som ett resultat av det ett färre antal planteringspunkter.

Mängden hyggesavfall (grenar från tidigare avverkade träd) har ett stort inflytande på hur många planteringspunkter som produceras (Örlander & Gemmel 1989). Grenarna fastnar och dras med harvtallrikarna vilket försämrar markberedningsresultatet. Studier har dock visat att hyggesavfallets inverkan på resultatet minskar betydligt om hyggesvila tillämpas innan markberedningen utförs (Ersson *et al.*, 2017; Berube, 2011). Blockkvoten påverkar inte bara resultatet som ett framkomlighetshinder utan även de block och stenar som finns i marken har en negativ effekt på markberedningen (Örlander & Gemmel 1989).

Humusskiktets tjocklek är också en avgörande faktor för markberedningsresultatet. För att harven ska kunna nå det eftersträvarvärda mineraljordsskiktet måste harvtallrikarna nå ner genom humusskiktet vilket försvåras vid alltför tjock humus.

Till viss del kan problemet avhjälpas med löpande uppföljning av resultatet under utförandets gång samt rätt inställningar på harvtallrikarna (Berube, 2011).

Vid markberedning i sidlutande terräng är det svårare att uppnå en tillfredställande planering av markberedningsarbetet (Friberg *et al.*, 2017; Örlander & Gemmel, 1989). Med en harvande maskin vill man undvika att köra i direkt motlut, eftersom det höjer arbetsbelastningen och därmed bränsleförbrukningen (Friberg *et al.*, 2017). Även risken för erosion och sedimenttransport i harvspåren ökar vilket gör att man blir tvingad till att köra på skrå eller att använda aggregatet för intermittent markberedning (Alcázar & Woodard, 2002). Den intermittenta inställningen på aggregatet kan medföra svårigheter att nå upp i beställt antal planteringspunkter/ha (Bulley, 1999). Körning i sidlut kan leda till problem, främst vid tjockt humuslager, då tiltan som läggs upp för lutningen tenderar att falla tillbaka i harvspåret med uteblivet markberedningsresultat som följd (Friberg *et al.*, 2017; Edholm, 2012)

1.1.5 Tekniska förbättringar för harven

Under sent 1970-tal utförde Arvidsson och Johansson (1979) en studie där drivna och vinkelställbara harvtallrikar testades och utvärderades. Bakgrunden var att harvarna på den tiden inte levde upp till kraven för antal godkända planteringspunkter/ha. Försöket visade sig falla väl ut, med hjälp av såväl tallrikarnas rotationshastighet som tallrikarnas vinkel i färdriktning och lutning mot marken kunde tydliga förbättringsresultat uppnås. Dagens moderna harvar har alla möjlighet att ändra dessa inställningar med hjälp av datorstyrning från hytten (Bracke, 2017; Ersson *et al.*, 2017). Däremot kan inte tallriksvinkeln ändras på ett sådant vis att tiltorna läggs åt samma håll i maskinens färdriktning, tiltorna läggs alltid utåt från maskinen för samtliga harvar förutom Bracke T28.a. Skillnaden visualiseras i Figur 2 där den vänstra harven symboliserar en standardharv.

1.2 Vridbara tallrikar med Bracke T28.a

Bracke Forest är en tillverkare som sedan 1920-talet tillverkat skogsbruksredskap. Sedan 1970-talet har företaget specialiserat sig på att tillverka markberedningsaggregat, och idag säljs företags produkter världen över (Bracke, 2019). Brackes senaste tillskott inom marknadssegmentet harvar är modellen T28.a, som är en tvåradig harv vilken framförs av en basmaskin i storleksklassen 16-20 ton. Aggregatet lanserades 2017 och delar många tekniska specifikationer med det sedan tidigare konstruerade T26.b aggregatet. Den stora nyheten med T28.a aggregatet är att tallrikarna är vridbara (Figur 2) vilket medger att tiltorna kan läggas åt samma eller olika håll i maskinens färdriktning. Enligt tillverkaren ska detta bidra till ett förbättrat resultat vid markberedning i sidolut eftersom båda tiltorna kan läggas nedåt vilket minskar risken att tiltan faller tillbaka i harvspåret. Maskinen tenderar även att kana mindre i sidled eftersom att båda tallrikarna håller emot (Bracke, 2017).



Figur 2. En beskrivande bild där Bracke T28.a, (höger i figuren), vridit båda harvtallrikarna åt samma håll. Till vänster visas det mer konventionella harvagggregatet T26.b. På bilden skiljer sig tallrikarnas tänder, men båda aggregaten har idag samma typ av tänder som de som är avbildade på T28.a (Foto:Bracke Forest)

Figure 2. Right: Bracke T28.a (with rotatable discs) Left: Bracke T.26b (without rotatable discs). The photo portrays different teeth on the discs, but today the units come with the same type of teeth as shown on the T28.a (Photo: Bracke Forest)

1.3 Tidigare studier

Det har tidigare utförts ett flertal studier som utvärderar olika markberedares resultat och vilka faktorer som påverkar harvningens arbetsresultat. Dessa studier har påvisat att faktorer som hyggesavfall, humustjocklek samt blockkvoten har en stor inverkan på antalet underkända planteringspunkter (Ersson *et al.*, 2017; Johansson, 2016; Berube, 2011; Andersson *et al.*, 1990). Däremot finns det enligt Anderssons *et al.* ingen inverkan av lutning på planteringspunkternas kvalitet. Utan det var endast maskinens prestation som påverkas av lutningen vilket vid studien gjordes i mot-/medlut. Inverkan av aggregatets tallriksinställningar såsom tallrikens rotationshastighet, marktryck och arbetsvinkel (lutning och snedställning i maskinens färdriktning) har utvärderats i tidigare studier (Gyldberg, 1993; Arvidsson & Johansson, 1979). I en studie av Edholm (2012) observerades att lutningen var ett problem vid harvning då skråkörning tillämpades. Ett problem var att slagavstånden blev för stora som en följd av att maskinen tvingades väja för hinder i terrängen. Det andra problemet var att kvaliteten på planteringspunkterna blev sämre eftersom svårigheter uppstod i att lägga tiltan uppför lutningen, då tiltan tenderade att falla tillbaka. Dock finns ingen tidigare studie på vridbara tallrikar och deras potentiella förmåga att åstadkomma ett bättre markberedningsresultat jämfört med konventionella harvar.

1.4 Syfte och mål

Studiens syfte var att utvärdera effekten av vridbara harvtallrikar på markberedningsresultatet vid olika humustjocklekar i sidolutande terräng jämfört med en standardharv utan vridbara tallrikar. Även terrängens blockkvot togs i beaktning och dess effekt utvärderades.

Målet med studien var att kunna dra slutsatser kring de vridbara tallrikarnas eventuella effekt vid markberedning i sidolutande terräng.

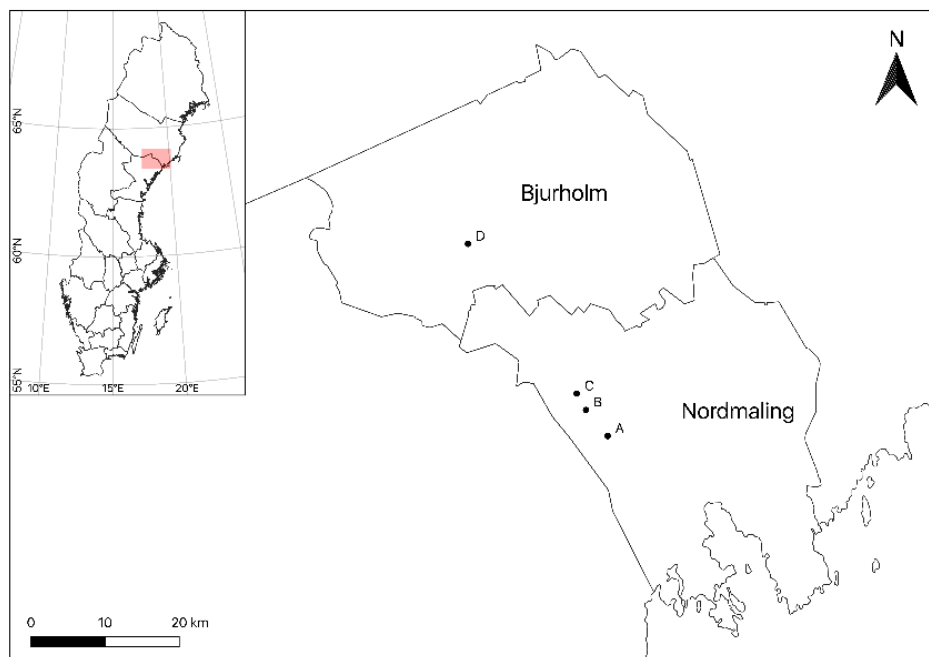
2 Material och metoder

2.1 Vetenskaplig metod

För att skapa en helhetsbild av ämnesområdet inleddes studien med en litteraturstudie rörande markberedning i allmänhet och kring Bracke T28.a samt markberedning i form av harvning i lutning i synnerhet. Sedan genomfördes ett fältförsök där harvning utfördes i sidolut med konventionellt vridna tallrikar och tallrikarna vridna åt samma håll nedför lutningen (Figur 2). Eftersom det sedan tidigare inte existerade någon data över de vridbara tallrikarnas arbetsresultat i sidolut var fältförsöket nödvändigt för att samla in ny data. Tillsammans med publicerad litteratur låg sedan analyser av det insamlade datamaterialet till grund för de slutsatser som studien resulterade i.

2.2 Försökslokaler

Studien utfördes under slutet av augusti månad 2019. Fältförsöken utfördes på fyra olika lokaler inom Bjurholm och Nordmalings kommuner i Västerbottens län (Figur 3). Markägaren för samtliga lokaler var SCA skog Västerbottens förvaltning. Lokaler hade sökts ut från SCAs traktbank med kriterierna att de skulle ha en medellutning mellan 10-30% (Tabell 1). Även skiftande humustjocklek var eftersträvävärt mellan försökstrakterna. Lokaler besiktigades i fält för att försäkra att de var lämpliga för försöket, vilket resulterade i att slutligen fyra försökslokaler valdes ut för studien.



Figur 3. Försökslokalernas geografiska läge inom Västerbottens län.

Figure 3. The location of the four study sites within Västerbotten county..

Tabell 1. Försökslokalernas naturgivna förutsättningar samt trädslagsblandning innan avverkning
Table 1. The characteristics of the study sites (Site-index, slope, tree-species mix before logging, vegetation-layer, height over sea-level and soil type)

Lokal	SI	Lutning (%)	TGL	Vegetationstyp	HöH (m)	Jordmån
A	T23	10-19	541	Blåbärstyp	155	Sandig/Moig morän
B	G19	20-32	280	Blåbärstyp	224	Sandig/Moig morän
C	G18	10-19	181	Blåbärstyp	292	Sandig/Moig Morän
D	T15	20-32	910	Lavtyp	272	Sandig morän

2.3 Utläggning av parceller

Inom varje försökslokal synades minst fyra områden ut för att utgöra lämpliga parceller. Parcellerna var drygt 20 meter för att medge 10 planteringspunkter i varje harvspår vid två meters avstånd mellan planteringspunkterna. För att möjliggöra en körning med varje behandling inom parcellen skulle den dessutom ha en bredd om minst 6 meter, vilket motsvarade maskinens dubbla arbetsbredd. Samtliga parceller placerades på ett sådant vis att harvspåren låg vinkelrätt mot markens lutning. Parcellerna mättes ut, tilldelades ett parcellnummer och markerades ut i terrängen med markeringskäppar och märkfärg.



Figur 4. Terrängbilder från försökstrakterna, med början överst från vänster och medurs A, B och D. Bild från trakt C saknas. (Foto: Gunnar Boglind)

Figure 4. Pictures from the sites, from top left and clockwise site A, B and D. No pictures from site C were taken. (Photo: Gunnar Boglind)

Inom varje parcell klassades terrängfaktorer som ansågs relevanta för markberedningsresultatet (Tabell 2). Klassningens utförande utgick från beskrivningen i ”Terrängtypsschema för skogsarbete” (Berg, 1982). Markens grundförhållanden klassades utifrån jordart samt markfuktighet. Grundförhållandeklassen är ett mått på hur väl marken tål belastning av terrängmaskiner. Grundförhållanden klassas från 1 till 5 där grundförhållande 1 i allmänhet tillåter körning året om och klass 5 bara tillåter maskiner vid frusen mark. Ytstrukturen är ett mått på mängden hinder indelat i höjdklasser. Ytstrukturen bedömdes med ögonmått, men i vissa svårbedömda fall användes stödmätning.

En uppskattning av markens bearbetningsmotstånd bedömdes genom bestämning av parcellens jordart, humustjocklek samt fält och bottenvegetationen, utfördes enligt terrängtypsschema (Berg, 1982). För att erhålla blockkvoten korsades parcellen diagonalt två gånger med ett nedstick varannan meter. Vid varje nedstick noterades om sten eller block hindrade nedstick djupare än 20 cm. Antalet nedstick som resulterade i att sten eller block påträffades dividerades med det totala antalet nedstick för att erhålla blockkvoten för parcellen. Blockkvoten beskrivs på en femgradig skala där 0% nedstick mot sten motsvarar blockkvotsklass 1 och över 61% nedstick motsvarar en blockkvotsklass på 5. Avslutningsvis skattades markens täckningsgrad av trädrester och stubbar, samtliga parceller klassificerades som täckningsgrad ett eller två enligt tidigare nämnt terrängtypsschema.

Tabell 2. Värden för grundförhållanden (G), ytstruktur (Y), markens bearbetningsmotstånd (M), blockkvot (B) och trädrester (T) inom varje parcell. Lutningen (L) och humustjockleken (Humus) klassades för varje planteringspunkt inom parcellen och redovisas som ett medelvärde för parcellen.

Table 2. Terrain characteristics in the parcels. Ground conditions (G), surface structure (Y), the treatment resistance of the ground surface (M), boulder quota (B) and slash and stumps (T). Slope (L) and thickness of the humus layer (Humus) are presented as a mean for all the planting spots in the parcel.

Parcell	G	Y	L (%)	Humus(cm)	M	B	T
A1	4	2	11	12	3	4	2
A2	2	3	18	8	3	4	2
B1	2	2	16	6	3	3	2
B3	2	2	22	7	3	3	2
B4	2	2	28	7	3	4	2
C1	3	2	30	7	3	3	2
C2	4	2	20	10	4	4	2
C3	4	2	21	10	3	4	2
C4	3	4	16	6	3	4	2
D1	1	2	33	4	2	4	1
D2	1	2	32	3	2	5	1
D3	1	2	23	3	2	4	2
D4	1	2	20	4	2	5	2
D5	1	2	32	3	2	5	1
D6	1	2	36	4	2	5	1
D7	5	2	0	14	4	2	2
D8	5	2	3	18	4	2	2

2.4 Försökets genomförande

Markberedningen utfördes med ett Bracke T28.a aggregat och basmaskinen utgjordes av en John Deere 1710D (Figur 5). Maskinföraren hade flera års erfarenhet av markberedning och hade kört maskinen på daglig basis under lång tid. Studiemanen åkte med i hytten under försökets genomförande för att minska risken för kommunikationsbrister. Föraren kunde inte svenska. Det var klart väder och uppehåll under studien. Därmed bedömdes vädret inte ha någon inverkan på resultatet. Basmaskinen drabbades av ett smärre haveri på den sista försökslokalen (lokal D) vilket ledde till att arbetet fick avbrytas i ett tidigare skede än önskat. Totalt ströks tre parceller från datainsamlingen då maskinen av misstag körde igenom parcellerna efter behandlingen.



Figur 5. Basmaskinen som användes vid försöket. (Foto: Gunnar Boglind)
Figure 5. The forwarder used during the study.

Båda behandlingarna utfördes inom varje parcell (Figur 6). Innan behandlingen påbörjades inom varje parcell lottades vilken behandling (likställda eller olikställda tallrikar, härafter benämns behandlingarna som T28.a eller standard) som skulle utföras först. Övriga aggregatinställningar såsom marktryck och tallrikarnas rotationshastighet fick chauffören själv bestämma utefter erfarenhet, men ej ändra inom parcellen. Harvningen påbörjades respektive avslutades några meter utanför parcellen. Anledningen till detta var att undvika eventuella obehandlade partier inom parcellen. Sedan upprepades proceduren med den kvarstående behandlingen. Maskinen hade tillåtelse att vända och köra åt motsatt håll i parcellen

Efter att parcellen var körd säkerställdes att uppmärkningen var tillfredsställande och vid behov kompletterades den med nya märkkäppar och signalfärg. Så att den skulle vara lätt att återfinna för inventering.



Figur 6. Maskinen under arbete med de tallrikarna ställda åt samma håll, T28.a (vänster bild) och tallrikarna ställda åt olika håll, standard (höger bild) (Foto: Gunnar Boglind)

Figure 6. The disc trencher performing site preparation with the discs rotated in the same direction, T28.a (left picture) and the discs rotated in different directions, ("standard"; right picture) (Photo: Gunnar Boglind)

2.5 Inventering av försöksytor och karaktärisering av planteringspunkter

Efter att harvningen var genomförd inventerades markberedningsresultatets kvalitet omgående. Varje harvspår mättes upp med måttband och inventeringen inleddes med att finna godkända planteringspunkter i den omvända torvan eller i harvspåret. Avståndet mellan planteringspunkterna skulle vara två meter med en variation av +/- 40 centimeter, vilket innebar min 1,2 m och max 2,4 m mellan planteringspunkterna. Den bästa möjliga planteringspunkten inom intervallet märktes ut med märkfärg för att sedan klassas enligt SCAs markberedningsmall (Tabell 3).

Vid bedömningen av planteringspunkternas kvalitet mättes även humustjockleken samt lutningen vid varje planteringspunkt. Mätningen av lutningen genomfördes genom att vinkelrätt mot maskinens färdriktning lades en plankan eller jordsonden så den linjerade med markytan. Sedan mättes lutning av plankan/jordsonden med hjälp av lutningsmätare. Med hjälp av tumstock mättes humustjockleken från förnalagrets undre kant till mineraljorden övre kant.

Tabell 3. Bedömningsklasser för planteringspunkter samt definitioner och marktypsrestriktioner, enligt SCAs planteringsinstruktion. (SCA, 2019)

Table 3. Classification of planting spots according to SCA's planting instructions. (SCA, 2019)

Klass	Definition	Marktyp
5:a	Omvänd torva med en mineraljordstäckning mer än 2x2 dm. mineraljordslagrets tjocklek mellan 3 och 10 cm.	Torr & frisk
4:a	Omvänd torva med en mineraljordstäckning mer än 1x1 dm. Inga krav på mineraljordslagrets tjocklek.	Torr & frisk
Mineral 3:a	Fläck eller spår som domineras av mineraljord med planteringspunkt i eller över marknivå. Fläcken skall vara minst 2x2 dm eller spåret minst 2 dm brett	Torr & frisk
Torv 3:a	Omvänd torva minst 2x2 dm med mineraljordstäckning mindre än 1x1 dm eller att mineraljordstäckning helt saknas.	Fuktig
Humus 3:a	Fläck eller spår som domineras av humusrester i eller över marknivå. Fläcken skall vara minst 2x2 dm eller spåret minst 2 dm brett.	Humustäcke >15 cm eller torvmark

2.6 Dataanalyser

Insamlat data skrevs in i Microsoft Excel för att sammanställas där planteringspunkternas poäng kodades in enligt följande; underkänd=2, mineral torv och humus 3:a=3, 4:a=4 och 5:a=5. I statistikprogrammet Minitab 18 sammanställdes grafer över planteringspunkternas fördelning för en första visuell analys.

Två statistiska jämförelser utfördes för att se om det fanns en signifikant skillnad i resultatet mellan behandlingarna (Standard VS T28.a). Dels utfördes ett två pars t-test med planteringspunkter som observationsenhet och dels utfördes ett parat t-test med harvspår som observationsenhet. Vid båda testen var bedömningspoängen den parameter som jämfördes. Efter genomförda analyser avlästes p-värdet för att se om signifikativa skillnader kunde fastställas. Gränsen för antaget statistiskt samband bestämdes vara p-värden <0,05.

3 Resultat

3.1 Humustjocklekens samband med andra parcell variabler

Total mättes 868 planteringspunkter inom samtliga parceller på de 4 trakterna (Figur 7). Sambandet mellan humustjocklek och lutning uppvisar en negativ korrelation, ju kraftigare lutning desto tunnare humuslager (Pearsons korrelationstest = -0,693).

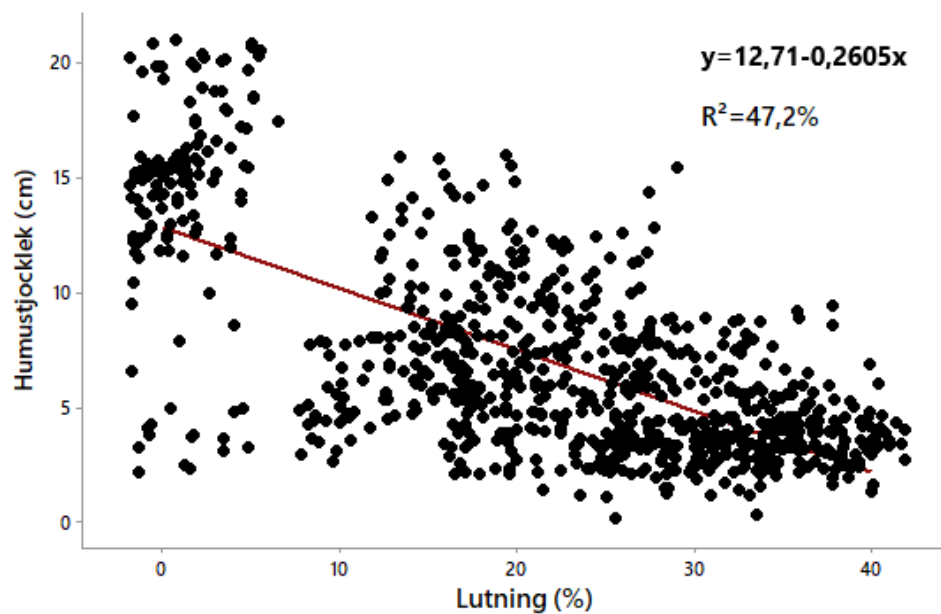


Figure 7. Sambandet mellan planteringspunkternas humustjocklek och lutning. Varje punkt motsvarar en planteringspunkt. N=868

Figure 7. The correlation between the thickness of the humus layer and the gradient of the planting spots. Each dot corresponds to a planting spot. N=868.

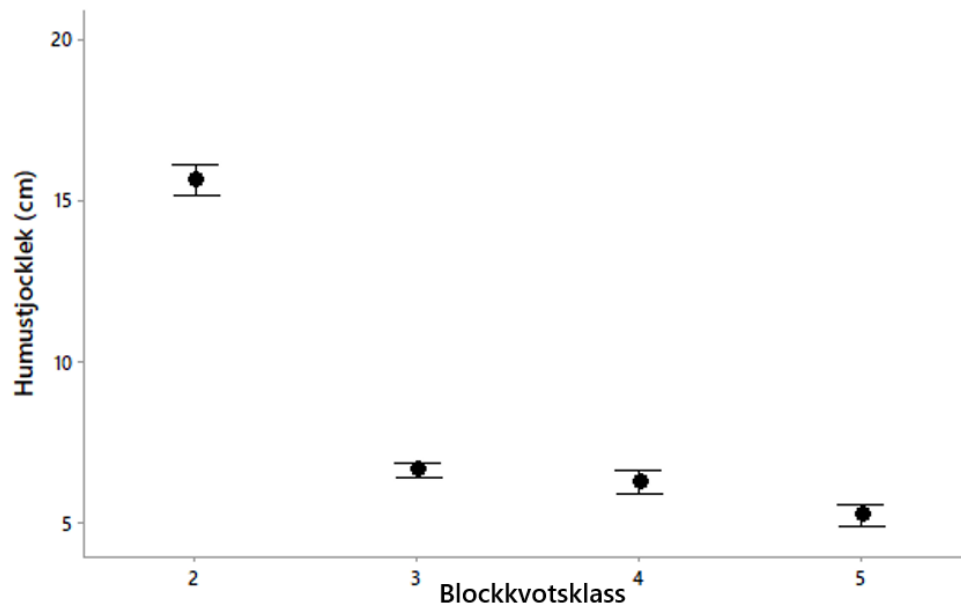


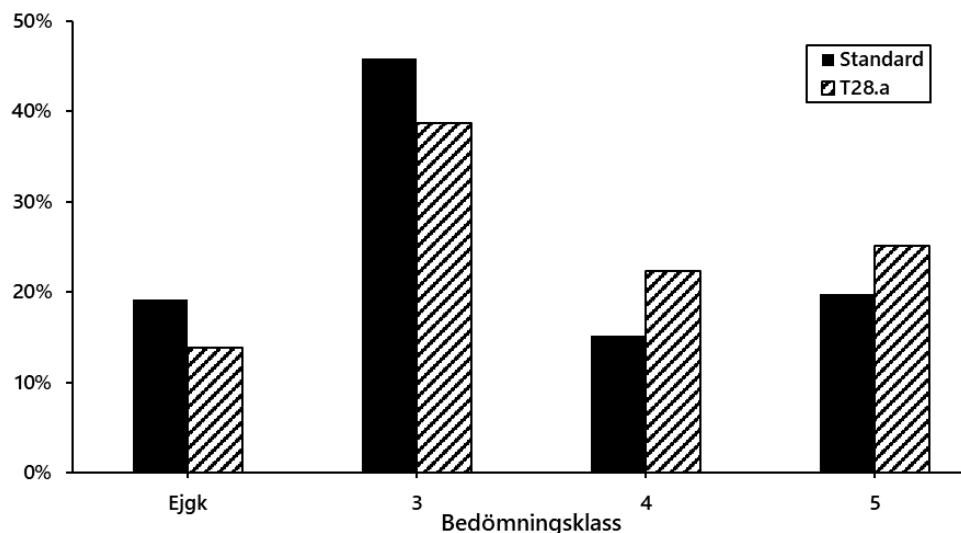
Figure 8. Sambandet mellan planteringspunkternas humustjocklek och parcellernas blockkvot. Punkterna representerar medelvärdet för humustjockleken och de horisontella strecken visar konfidensintervallet. N=868

Figure 8. The correlation between the thickness of the humus layer in the planting spots and the parcels' boulder quota. The dots represent the mean thickness of humus and the horizontal lines show the confidence interval. N=868

En liknande korrelation för humustjockleken kunde ses med blockkvoten (Figur 8). Sambandet mellan parcellens blockkvot och planteringspunktens humustjocklek hade en Pearsonkorrelation på -0,62. Korrelationen var svagare än för lutning men påvisar ändå sambandet mellan minskande humustjocklek med ökad blockkvot.

3.2 Markberedningsresultatet

De totalt 868 planteringspunkternas fördelning inom bedömningsklasserna påvisar att behandlingen T28.a (med tallrikarna ställda åt samma håll) gav en högre andel planteringspunkter som bedömdes som mycket bra (klass 4 och 5), jämfört med behandlingen standard. Även andelen underkända planteringspunkter var lägre för T28.a än för behandlingen standard (Figur 9). Andelen 4:or respektive 5:or var för T28.a 22% samt 25%, medan behandlingen standard gav 15% samt 20% för respektive bedömningsklass. I 14% av fallen saknades godkända planteringspunkter för behandling T28.a, motsvarande värden för standard var 19%. Skillnaden i markberedningsresultatet sett över alla planteringspunkter med endast behandlingsmetod som förklarande variabel var signifikant ($P=0,001$).

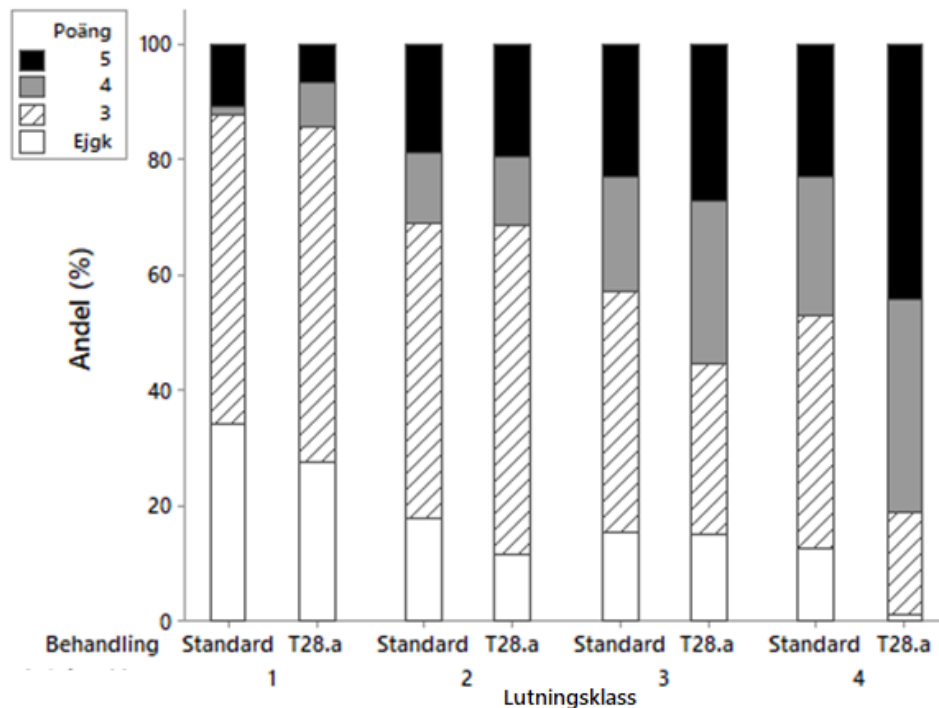


Figur 9. Planteringspunkternas procentuella fördelning mellan bedömningsklasserna (3-5 Ejgk= Ej godkänd) uppdelat på de två behandlingsmetoderna Standard (vanlig harv utan vridbara harvtallrikar) och T28.a (med vridbara harvtallrikar). N inom varje behandling = 434.

Figure 9. The quality of the planting spots (3-5=adequate planting spots, Ejgk=inadequate planting spots) based on the two different treatments Standard (disc trencher without rotatable discs) and T28.a (disc trencher with rotatable discs). N within each treatment = 434.

Vid de två högre lutningsklasserna (L = 3 och 4) skapade T28.a en högre mängd 4or och 5or än standardinställningen (Figur 10). För den högsta lutningsklassen (L=4) fanns mycket få underkända planteringspunkter för behandlingen T28.a och

det var endast inom denna lutningsklass som skillnaderna mellan behandlingarna var signifikant. Skillnaderna mellan behandlingarna tenderade att minska i de lägre lutningsklasserna (L = 1 och 2). I lutningsklass 1 var lutningen mycket låg (Tabell 4) och där registrerades även punkter där lutningen bedömdes till noll.



Figur 10. Planteringspunkternas fördelning mellan bedömningsklasserna (3-5;Ejgk= Ej godkänd) uppdelat på de två behandlingarna Standard(vanlig harv utan vridbara tallrikar) och T28.a(harv med vridbara tallrikar) samt lutningsklass (1-4) (enligt Bergs (1982) terrängtypschema).

Figure 10. The quality of the planting spots (3-5=adequate planting spots, Ejgk=inadequate planting spots) based on the two treatments Standard (disc trencher without rotatable discs) and T28.a (disc trencher with rotatable discs) and gradient class (1-4, according to Bergs (1982) terrain classification system).

Tabell 4. Medelvärde i % för lutningen i per lutningsklass samt antalet planteringspunkter inom varje lutningsklass.

Table 4. Mean gradient (in %) and the number of planting spots in each gradient class.

Lutningsklass	N	Medel	St Dev
1	158	2,21	3,10
2	202	16,18	2,40
3	354	26,83	3,67
4	154	36,75	1,99

Parat t-test utfördes på samtliga parcellers resultat, vid jämförelsen undersöktes om det fanns en signifikant skillnad mellan de olika behandlingarnas medelpoäng inom

parcellerna (Tabell 5). Resultatet visade att T28.a medelpoäng var signifikant högre inom parcellerna C1, D1, D2, D4 och D8 (med ett konfidensintervall på 95%).

Inom parcellerna fanns en variation av både humustjocklek och lutning mellan behandlingarna. Statistiska analyser kunde dock bekräfta att humustjocklekens medelvärde korrelerade till 86,3% mellan behandlingarna och lutningens medelvärde korrelerade till 94,6% för dito.

Tabell 5. Medelpoäng för varje parcell och de två behandlingarna Standard (vanlig harv utan vridbara tallrikar) och T28.a (med vridbara tallrikar) samt p-värde vid signifikansnivå 5 %

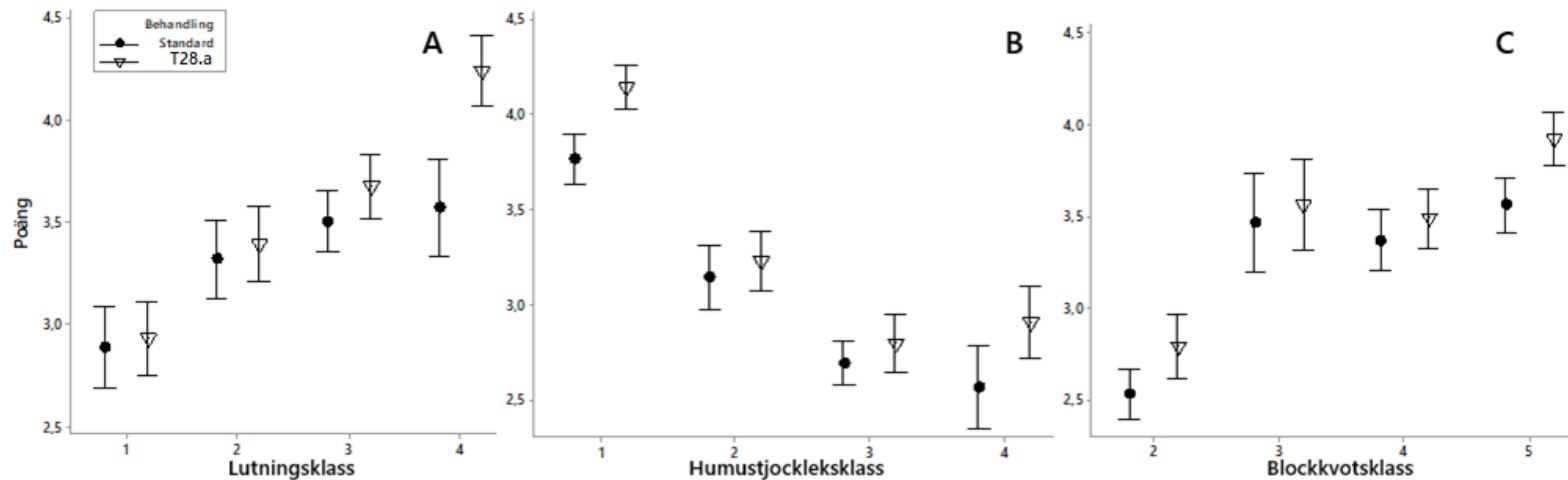
Table 5. The average score for the two treatments Standard (no rotatable discs) and T28.a (rotatable discs) in each parcel and p-value for the level of significance at 5 %.

Parcell	Standard			T28.a			P-värde
	N	Medel	St Dev	N	Medel	St Dev	
A1	20	3,05	0,510	20	3,0	0,00	0,66
A2	20	2,65	0,489	20	2,65	0,587	1,00
B1	20	3,75	1,020	20	3,75	0,786	1,00
B3	20	3,75	1,020	20	3,35	1,089	0,148
B4	20	2,90	0,968	20	3,10	0,788	0,408
C1	20	2,90	0,852	20	3,60	0,995	0,031
C2	20	2,85	0,671	20	2,60	0,503	0,171
C3	20	2,95	0,510	20	2,85	0,587	0,541
C4	20	3,40	1,188	20	3,50	1,051	0,785
D1	32	3,68	0,931	32	4,28	0,729	0,005
D2	38	3,53	0,893	38	4,03	0,885	0,009
D3	36	3,86	1,09	36	3,86	0,93	1,00
D4	38	3,89	0,953	38	4,34	0,847	0,036
D5	36	3,83	1,056	36	4,31	0,920	0,071
D6	20	3,95	1,050	20	4,45	0,686	0,066
D7	34	2,53	0,507	34	2,74	0,751	0,198
D8	20	2,55	0,510	20	2,90	0,447	0,049

Behandlingarnas medelpoäng vid de olika lutningsklasserna enligt Berg (1982) terrängtypsschema uppvisade skillnader mellan behandlingarna vid alla lutningsklasser (Figur 11 A). För de lägre lutningsklasserna var skillnaden minst och ökade sedan succesivt. Vid lutningsklass 4 konstaterades en signifikant skillnad i resultatet mellan behandlingarna ($p=0,001$), vid lutningsklass 4 var skillnaderna i medelvärde 0,667 poäng. För de övriga lutningsklasserna kunde ingen signifikans konstateras men i samtliga fall producerade behandlingen T28.a en högre medelpoäng (se Bilaga 1).

För humustjocklekarna (Figur 11 B) varierade medelpoängen och båda behandlingsmetoderna producerade bäst markberedningsresultat i det lägsta spannet av humustjocklek (1-5 cm, humustjocklekklass 1). I de två mellanklasserna var skillnaden mellan behandlingarna lägre än i de övriga klasserna. Skillnaderna mellan behandlingarna uppvisade signifikans i klass 1 ($p=0,001$) samt i klass 4 ($p=0,018$), (se Bilaga 2) till fördel för behandling T28.a. I det senare fallet var dock antalet planteringspunkter endast 45 stycken vilket är en relativt liten mängd observationer.

Det var stora skillnader i markberedningsresultat mellan blockkvoterna (Figur 11 C). Behandlingen T28.a producerade bättre medelpoäng i samtliga blockkvotsklasser, men det var endast i blockkvotklass 2 och 5 där skillnaden var signifikant ($p=0,023$ samt $p=0,001$).



Figur 11. Medelpoängen för de olika behandlingsmetoderna Standard (vanlig harv utan vridbara tallrikar) samt T28.a (harv med vridbara tallrikar) med respektive konfidensintervall fördelat på A) lutningsklass; B) humustjocklekssklass (1=1-5 cm; 2=6-10 cm; 3=11-15 cm; 4=16-20 cm); och C) blockkvotssklass. Lutnings- och blockkvotssklass enligt Bergs (1982) terrängtypsschema

Figure 11. The average score for the two treatments Standard (no rotatable discs) and T28.a (rotatable discs) and its level of confidence based on A) classification of gradient; B) class of humus layer thickness (1=1-5 cm; 2=6-10 cm; 3=11-15 cm; 4=16-20 cm) and C) boulder quota. Gradient and boulder quota classified according to Berg's (1982) terrain classification system.

4 Diskussion

4.1 Markberedningsresultatet

Studiens resultat indikerar att markberedningen med behandlingen T28.a ger ett bättre markberedningsresultat än behandlingen Standard. Tallrikar vridna åt samma håll producerade större andel godkända planteringspunkter och en större andel planteringspunkter med mineraljord på omvänd torva (Figur 9 och 10).

När behandlingarna jämfördes parvis inom sina respektive parceller kunde en signifikant skillnad påvisas i fyra parceller (Tabell 5), och i 59 % av parcellerna var det bättre med behandlingen T28.a än behandlingen Standard. Lutningens inverkan på resultatet ökar succesivt med ökad lutning och vid lutningsklass 4 fanns en signifikant skillnad (Figur 11A). Anmärkningsvärt är att medelpoängen ökade för båda behandlingarna med ökad lutning men kan troligen förklaras genom att humustjockleken minskade med ökad lutning (Figur 7) och att minskad humustjocklek ger ett bättre markberedningsresultat. Även att tiltans egna vikt skapar ett kraftigare moment vid nedläggning ner för lutningen borde bidragit till en kvalitetsökning.

Humustjocklekens inverkan på markberedningsresultatet för de båda behandlingarna uppvisade störst skillnad vid de mest extrema förhållandena (Figur 11B). Vid humustjocklek 1-5 cm är det en signifikant skillnad mellan behandlingarna men även vid humustjocklek 16-20 cm. Vid den senare kan resultatet dock ifrågasättas eftersom antalet planteringspunkter var lågt, och tillfälligheter såsom en högre mängd stubbar för den ena behandlingen kan ha haft en stor inverkan. Vid samtliga humustjocklekar har behandlingen T28.a producerat ett bättre resultat än standardharvens olikställda tallrikar.

Blockkvotens inverkan på resultatet följer ett liknande mönster som lutningen, en högre blockkvot gav en högre medelpoäng för båda behandlingarna. Enligt resultaten från denna studie är skillnaderna mellan behandlingarna större ju extremare terrängförutsättningarna blir till T28.a fördel.

4.2 Tidigare resultat

Till skillnad från denna studie har några tidigare studier inom markberedning inte kunnat uppvisa att lutningen har en inverkan på markberedningsresultatet (Wikner, 2015; Andersson *et al.*, 1990). I Anderssons *et al.* (1990) prestationsnormer kan det antas att markberedningen utfördes i motlut (till skillnad från denna studie som utfördes i sidolut), vilket kan förklara varför lutningen inte ger någon kvalitetsskillnad i deras normer. I Wikners (2015) studie framgår det ej om markberedningen utfördes i motlut eller sidolut. Johanssons (2016) studie uppvisar att det finns en skillnad mellan markberedningskvaliteten vid harvning i olika lutningsklasser, men dock varierar övriga terrängfaktorer kraftigt vid de olika lutningsklasserna i den studien.

Samtidigt framhåller (Friberg *et al.*, 2017) att tillbaka fallna harvtiltor är ett problem vid markberedning i sidolut, något som även styrks av observationerna i Edholms (2012) studie. En förklaring till min studies resultat (att ökad lutning gav bättre markberedningsresultat) kan vara att på trakten där de största lutningarna uppmättes (trakt D) var humustjockleken liten och att jordarten var sandig morän. Dessa två parametrar tillsammans med att markberedningsstandarden premierar mineraljordstäckning med långt avstånd till humus (Tabell 3) gav ett gott resultat på denna trakt även för standardharven. Men det ska understrykas att det fanns en signifikant skillnad mellan behandlingarna, T28.a behandlingen gav alltså ett bättre resultat än standard behandlingen.

Det är sedan tidigare känt att ökande blockkvot har en negativ inverkan på ett harvande aggregats resultat (Berube, 2011; Andersson *et al.*, 1990). Men enligt denna studie påvisas snarare ett motsatt förhållande då båda behandlingarna gav ett bättre resultat vid en högre blockkvot, även om skillnaderna mellan behandlingarna var som störst där blockkvoten var mest extrem (Figur 11C). Återigen kan trenden delvis härledas till att humustjockleken var minst på de mest steniga trakterna (Figur 11B)

4.3 Ekonomiska aspekter

En harv med vridbara tallrikar (T28.a) kostar cirka 180 000 kr mer än Brackes standardharv T26.b enligt tillverkaren¹. Den ökade investeringskostnaden resulterar i en ökad kostnad per arbetad timme (Bilaga 3). Vid beräkningarna har en årlig markberedd areal om 1000 ha använts vilket kan anses rimligt (Sundblad, 2008). Kostnaden för att utföra en timmes markberedning steg från 1857 kr med Bracke T26.b till 1893 kr med Bracke T28.a, vilket motsvarar en kostnadsökning på 1,9 %. Vid beräkningarna exkluderas flyttkostnader, samt att driftkostnader antogs vara lika för de båda systemen. I realiteten kan det antas att en utökad andel skråkörning, som en följd av T28.a goda resultat där, borde leda till minskade bränslekostnader samt lägre maskinellt slitage. Det högre inköpspriset kommer att belasta entreprenören ekonomiskt men samtidigt kommer det bättre resultatet till gagn för beställaren. Vissa beställare använder idag ett kvalitetsbaserat ersättningssystem², där entreprenören kan ha en fast grundersättning per hektar och sedan få en premie om andelen planteringspunkter som klassificeras som 4or och 5or uppgår till en viss andel. I ett sådant kvalitetsbaserat ersättningssystem får entreprenören en direkt avkastning på den högre investeringskostnaden för maskinen, i form av ökade premier som en följd av det bättre resultatet. Om ersättningen istället skulle utgöras av en fast summa per hektar blir den fasta kostnaden högre för beställaren, eftersom att entreprenören troligen skulle öka sin ersättning motsvarande kostnadsökningen för T28.a. Det mervärde beställaren erhåller är en bättre markberedning, i detta fall med 5% fler godkända planteringspunkter och 12% fler planteringspunkter av typen mineraljordstäckt torva. Vilket skulle resultera i en bättre plantöverlevnad och en högre skoglig tillväxt (Hjelm *et al.*, 2019).

4.4 Praktisk implementering

Nytan av de vridbara tallrikarna hos T28.a är främst användbar i lutande terräng. Genom att studera lutningskarta i studie utförd av Bengtsson (2017) kan man konstatera att de största koncentrationen av lutande terräng i Sverige återfinns i Väster-norrland, Jämtland samt västra Värmland och Dalsland. Förutsatt att lutningen inte är alltför extrem och ytstrukturen tillåter det borde skråkörning vara väl tillämpligt.

Enligt denna studie bör markberedningsresultatet bli bättre om harv med möjlighet att ställa tallrikarna åt samma håll nedför sluttningen (T28.a) används. Genom att nyttja sig av skråkörningen kan negativa effekter som höjd bränsleförbrukning och sänkt produktivitet undvikas (Friberg *et al.*, 2017; Bulley, 1999). Beroende på

1. Simon Eurenus, Försäljare, Bracke Forest, 2019-11-05

2. Henrik Pålsson, Skogsvårdsledare, SCA Skog, 2019-11-07

hyggets utformning kan även skråkörningen tillämpas för att maximera slaglängden och därmed produktiviteten, utan att ge avkall på resultatet. Miljömässiga effekter förutom sänkt bränsleförbrukning borde också kunna erhållas eftersom att risken för erosion minskar då harvspåren kan läggas längsmed höjdkurvorna. För det efterföljande planteringsarbetet kan även vinster i form av ökad produktivitet erhållas, eftersom plantörerna slipper arbeta i motlut.

Den tekniska utvecklingen av markberedare har genom historien gått mot att skapa fler planteringsrader (Frölén, 2019). Därför borde den naturliga vidareutvecklingen av T28.a vara att utöka aggregatet med en tredje harvtallrik, vilket skulle höja produktiviteten. Vidare hävdar Frölén (2019) att många tekniska innovationer som bidragit med goda markberedningsresultat ej har tillämpats i praktiken, då de inte lever upp till kraven på ett flexibelt aggregat som klara många olika typer av marker. Ett harvande aggregat ses som ett flexibelt aggregat (Hansson *et al.*, 2014) och de vridbara tallrikarna hos T28.a ger inget avkall på flexibiliteten men ger bättre markberedningsresultat, samtidigt som kostnadsökningen är modest (ca 2 %/tim). Detta talar för en hög möjlighet för tillämpning av harvar med vridbara tallrikar.

4.5 Studiens styrkor och svagheter

All datainsamling gjordes av författaren själv vilket borgar för att ingen utomstående kan ha påverkat materialet. Samtliga körningar utfördes med samma basmaskin, markberedningsaggregat och förare med författaren närvarande i hytten för att undvika missförstånd. Fältförsökets utformning anpassades på ett sådant sätt att terrägenskaperna skulle vara så homogena som möjligt inom parcellen. Trots dessa ansträngningar förekommer vissa skillnader mellan de båda behandlingarnas förutsättningar i parcellen. Men med tanke på naturens komplexitet får ändå korrelationen mellan behandlingarnas humustjocklek och lutning ses som god.

Tre parceller var tvungna att strykas från studien eftersom maskinen passerat igenom dem efter att behandlingen slutförts. Detta ledde till att längden på några parceller utökades på den sista försökstrakten där marken ansågs vara homogen.

Som redan nämnt i kapitel 2.5 användes ett annat minsta tillåtna avstånd mellan planteringspunkterna jämfört med SCAs planteringsstandard. SCA tillämpar avståndet 1,0 meter men i denna studie tillämpades 1,2 m som en följd av ett missförstånd. Det är möjligt att ett större antal planteringspunkter som blivit godkända hade kunnat identifieras med ett kortare minsta avstånd mellan planteringspunkterna. Dock användes minimumavståndet 1,2 meter konsekvent under hela studien, vilket innebär att ingen skillnad gjordes mellan behandlingarna så resultatet bör ej ha påverkats. Samtidigt ska det nämnas att minsta tillåtna avstånd mellan plantor

varierar kraftigt mellan olika skogsbolag från 0,6 till 1,5 meter(SCA, 2019; SödraSkogsägarna, 2019; StoraEnso, 2015; Holmen, 2011)

4.6 Fortsatt forskning

Under fältförsökets gång markbereddes bitvis kraftiga sidolutningar. Detta ställde höga krav på förarens kunnighet i hur maskinen beter sig under sådana extrema förutsättningar och var begränsningarna går. Det vore önskvärt med en studie av vilka lutningar maskinförare är villiga att köra i sidolut på och vid vilka övriga förutsättningar på GYL-skalan som spelar in. Tillsammans med en noggrannare kartläggning över skogsmarkens lutning skulle detta ge en indikation på var i Sverige de största tillämpningsområdena för harvning med vridbara tallrikar (T28.a) finns. Även möjligheten för ökad tillämpning i övriga världen, exempelvis Kanada där harvning är den vanligaste metoden för markberedning (Ersson *et al.*, 2017) borde undersökas.

Produktiviteten borde bli bättre vid skråkörning om slaglängden kan utökas. Vad detta kan ge entreprenören i ökad vinst och omsättning skulle vara intressant att se, det kan även hjälpa entreprenören att göra en mer konkurrenskraftig prissättning. En negativ effekt vid skråkörning är svårigheten att hålla maskinen på en jämn höjd i lutningen, att den inte kanar nerför lutningen. Enligt tillverkaren Bracke Forest är en fördel med T28.a att aggregatet minskar maskinens egenskap att kana i sidled vid skråkörning eftersom att två tallrikar håller emot (Bracke, 2017). En studie för att bekräfta eller förkasta den tesen skulle vara intressant.

4.7 Slutsatser

- Harvning med vridbara tallrikar vinklade åt samma håll (T28.a) ger ett bättre resultat vid harvning i sidolut jämfört med harvning med tallrikarna åt olika håll (standard). Ju brantare sidolut desto större var skillnaderna mellan aggregaten.
- Blockkvoten och humustjockleken var faktorer som hade en inverkan på markberedningsresultatet. Ju högre värden på dessa faktorer desto bättre blev markberedningsresultatet med tallrikarna vinklade åt samma håll (T28.a) relativt standardharven med tallrikarna vinklade åt olika håll.
- Humustjockleken tenderade att minska med ökad lutning och blockkvot.

Referenslista

- Alcázar, J. & Woodard, R.P.L.M. (2002). Soil Disturbance and the Potential for Erosion After Mechanical Site Preparation. *Northern Journal of Applied Forestry*, vol. 19, ss. 5-13.
- Andersson, G., Brunberg, T. & Westerling, S. (1990). *Underlag för produktionsnormer för maskinell markberedning : Defining productivity standards for mechanized scarification*. Kista: Forskningsstiftelsen Skogsarbeten (Redogörelse, 1990:2).
- Arvidsson, A. & Johansson, J. (1979). *Markberedning: försök med aktivt drivna harvtallrikar med olika vinkelinställning*. Garpenberg: Institutionen för skogsteknik, Sveriges lantbruksuniversitet (Stencil nr 81).
- Bengtsson, A. (2017). *Skonsam markberedning för virkesproduktion och andra ekosystemtjänster. Gentle scarification for wood production and other ecosystem services*. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi (2017:8).
- Berg, S. (1982). *Terrängtypsschema för skogsarbete*. Spånga: Forskningsstiftelsen Skogsarbeten.
- Berube, M.-A. (2011). *Site conditions affecting the treatment quality of scarifiers*. Pointe Clarie: FP Innovations (Advantage report, Vol.12 No.13).
- Bracke (2017). *Bracke T28.a*. Tillgänglig: <https://www.brackeforest.com/downloads/Bracke-Disc-Trencher-T28-a-sv.pdf> [2019-10-24].
- Bracke (2019). *Bracke, om oss*. Tillgänglig: <https://www.brackeforest.com/sv/om-oss/bracke-forest-ab> [2020-03-06].
- Bulley, B. (1999). *TTS-Delta Disc Trencher: Intermittent and Continuous Trench Operation*: Forest Engineering Research Institute of Canada, Western Division.
- Edholm, A. (2012). *Kartläggning av markberedning i svår terräng på SCA Skog*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Skogsmästarskolan. (2012:10).
- Ersson, B.T., Cormier, D., St-Amour, M. & Guay, J. (2017). The impact of disc settings and slash characteristics on the Bracke three-row disc trencher's performance. *International Journal of Forest Engineering*, 28(1), ss. 1-9.
- Friberg, G., Berlin, M., Johannesson, T. & Eliasson, L. (2017). *Lutningsindex- beslutsstöd vid markberedning*. Uppsala: Skogforsk. (Arbetsrapport 928-2017)
- Frölén, D. (2019). *Markberedarnas tekniska utveckling*. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi. (Rapport 2019:6)
- Gyldberg, B. (1993). *Studies of the workings of a powered disc trencher*. Diss. Sveriges lantbruksuniversitet. Garpenberg.
- Hallsby, G. (2013). *Skogsskötselserien 3, Plantering av barrträd*. 2.uppl. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Hansson, L., Rappe, M., Annemieke, G. & Gärdenäs, I. (2014). *Markberedning i svenskt skogsbruk nu och i framtiden med fokus på miljökonsekvenser litteraturstudie och expertintervjuer med*

- Skogsstyrelsen och Skogforsk. Uppsala: Institutionen för mark och miljö SLU. (CLEO-Rapport D1.2.2)
- Hjelm, K., Nilsson, U., Johansson, U. & Nordin, P. (2019). Effects of mechanical site preparation and slash removal on long-term productivity of conifer plantations in Sweden. *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 49(10), ss. 1311-1319.
- Hjelm, K., Nilsson, U. & Örlander, G. (2012). A comparison of long-term effects of scarification methods on the establishment of Norway spruce. *Forestry*, 86, ss. 91-98.
- Holmen. (2011). *Riktlinjer för uthålligt skogsbruk*. 4. uppl. Örnsköldsvik: Holmen Skog.
- Johansson, M. (2016). *Markberedning i brant och stenig terräng en jämförande studie mellan markberedning med harv, grävmaskin och spadförsedd skördare*. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi. 2016:14.
- Lundmark, J-E. (1988). *Skogsmarkens ekologi-ståndortsanpassat skogsbruk, del 2-Tillämpning*. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Löf, M. (2000). Influence of patch scarification and insect herbivory on growth and survival in *Fagus sylvatica* L., *Picea abies* L. Karst. and *Quercus robur* L. seedlings following a Norway spruce forest. *Forest Ecology and Management*. Vol. 134(1-3), ss. 111-123.
- Löf, M., Dey, D., Navarro, R. & Jacobs, D. (2012). Mechanical site preparation for forest restoration. *New Forests*. Vol. 43(5-6), ss. 825-848.
- Löf, M., Ersson, B.T., Hjältén, J., Nordfjell, T., Oliet, J.A., Willoughby, I. (2015). Site preparation techniques for forest restoration. I: J.A. Stanturf, red. *Restoration of Boreal and Temperate Forests*: CRC Press. pp. 85-102.
- Magnusson, T. (2015). *Skogsskötselserien 13, Skogsbruk, mark och vatten*. 2. uppl. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Mattsson, S. & Bergsten, U. (2003). *Pinus contorta* growth in northern Sweden as affected by soil scarification. *New Forests*. Vol. 26(3), ss. 217-231.
- Nordlander, G., Hellqvist, C., Johansson, K. & Nordenhem, H. (2011). Regeneration of European boreal forests: Effectiveness of measures against seedling mortality caused by the pine weevil *Hylobius abietis*. *Forest Ecology and Management*. Vol. 262(12), ss. 2354-2363.
- Norlander, G., Örlander, G., Petersson, M. & Hellqvist, C. (2006). *Skogsskötselåtgärder mot snytbagge*. Version 1.3. Webbhandbok. Tillgänglig: http://snytbagge.slu.se/attachment/snytbagge-handbok_v1_3.pdf [2019-09-16]
- Roturier, S. (2009). *Managing reindeer lichen during forest regeneration procedures linking Sami herders' knowledge and forestry*. Diss. Umeå. Sveriges lantbruksuniversitet.
- Rydberg, D. (2004). *Vår tätortsnära natur: en bok om förvaltning och skötsel*. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- SCA (2019). *Planteringsinstruktion, Bli proffs på plantering*. Opublicerat manuskript. Sundsvall: SCA Skog.
- Skogsstyrelsen (2014). *Skogsstatistik årsbok 2014* Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Skogsstyrelsen (2019). *Åtgärder i skogsbruket*. Tillgänglig: <https://www.skogsstyrelsen.se/statistik/statistik-efter-amne/atgarder-i-skogsbruket/> [2019-10-21].
- StoraEnso (2015). *Planteringsinstruktion- för plantbasar*. Opublicerat manuskript. Falun: Stora Enso Skog.
- Sundblad, L.-G. (2008). *Kontinuerlig inversmarkberedning: ett utvecklingsprojekt med potential*. Uppsala: Skogforsk. (Resultat nr 6).
- Sutton, R. (1993). Mounding site preparation: A review of European and North American experience. *New Forests*. 7(2), ss. 151-192.
- Söderström, V. (1974). Markberedning. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift*, 1, ss. 157-166.
- Södra Skogsägarna (2019). *Planteringsstandard*. Opublicerat manuskript. Växjö: Södra Skogsägarna.

- Unander, A. & S, Claesson. (2016). *Hänsyn till forn- och kulturlämningar – Resultat från Hänsynsuppföljning Kulturmiljöer 2015*. Jönköping: Skogsstyrelsen. Rapport 5:2016.
- Wikner, F. (2015). *Hur påverkas markberedningsresultatet vid harvning och högläggning av faktorer som lutning, ystruktur och markfuktighet?* Linnéuniversitetet. Institutionen för skogs- och träteknik.
- Örlander, G. & Gemmel, P. (1989). *Markberedning*. Djursholm: Sveriges Skogsvårdsförbund. (Sveriges skogsvårdsförbunds tidskrift, 89:3).

5 Bilagor

5.1 Bilaga 1. Tabell tillhörande figur 11 A

Lutnings- klass	Antal Standard	Medel Standard	STD Standard	Antal T28.a	Medel T28.a	STD T28.a	P-värde
1	82	2,890	0,889	76	2,934	0,789	0,742
2	100	3,320	0,984	102	3,392	0,935	0,594
3	182	3,510	1,010	172	3,670	1,014	0,122
4	70	3,571	0,986	84	4,238	0,786	0,001

5.2 Bilaga 2. Tabell tillhörande figur 11 B

Humus tjocklek (cm)	Antal Standard	Medel Standard	STD Standard	Antal T28.a	Medel T28.a	STD T28.a	P-värde
1-5	219	3,767	0,998	208	4,144	0,884	0,001
6-10	124	3,145	0,960	140	3,229	0,939	0,477
11-15	68	2,691	0,465	64	2,797	0,596	0,260
16-20	23	2,565	0,507	22	2,909	0,426	0,018

5.3 Bilaga 3. Kostnadskalkyl för två olika typer av harvekipage (T26.b = standard harv, T28.a = ny harv med vridbara tallrikar)

	T26.b	T28.a
Investeringsbelopp*	5050000	5230000
Restvärde (10%)	505000	523000
Kalkylränta (%)	7	7
Ekonomisk livslängd (år)	6	6
Fast underhållskostn. (kr/år)	75000	75000
Rörlig underhållskostn. (kr/tim)	30	30
Drivmedelskostnad (kr/tim)	454	454
Förarlön (kr/tim)	310	310
Systemtid (tim/år)	1000	1000
Kostnad per tim (kr)	1857	1893

*Avser markberedningsaggregat samt basmaskin (3750000 kr)

$$Kha = KT/P \quad \text{Kha= Kostnad per hektar P= Produktivitet (ha/tim)}$$

$$KT = Kfast + Krörl \quad \begin{array}{l} KT=\text{Timkostnad för aktuell maskin} \\ Kfast=\text{Fast kostnad (kr/tim)} \\ Krörl=\text{Rörlig kostnad (kr/tim)} \end{array}$$

$$Kfast = (Kkap + Kuf)/M \quad \begin{array}{l} Kkap=\text{Kapitalkostnad (kr/år)} \\ Kuf=\text{Fast underhålls kostnad (kr/år)} \\ M=\text{Systemtid (tim per år)} \end{array}$$

$$Krörl = Kur + Kdriv + Klön \quad \begin{array}{l} Kur=\text{Rörlig underhållskostnad (kr/tim)} \\ Kdriv=\text{Drivmedelskostnad (kr/tim)} \\ Klön=\text{Lönekostnad (kr/tim)} \end{array}$$

$$Kkap = (I - Rn) \times A \quad \begin{array}{l} I=\text{Investeringsbelopp (kr)} \\ Rn=\text{Restvärdets nuvärde (kr)} \\ A=\text{Amorteringsfaktor} \end{array}$$

$$Rn = R \times (1 + i)^{-n} \quad \begin{array}{l} R=\text{Restvärde} \\ i=\text{Kalkylränta (\%/100)} \end{array}$$

$$A = \frac{i \times (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad n=\text{Ekonomisk livslängd}$$